

MINISTERIE van LANDBOUW
Bestuur voor Landbouwkundig Onderzoek
Kommissie voor T.W.O.Z.
Voorzitter : F. Lievens, directeur-generaal

No 17

MOGELIJKHEDEN tot het GEBRUIK
van
WISSELSTROOM
aan boord van
VISSERSVAARTUIGEN

Werggroep «Techniek in de Zeevisserij»
Voorzitter : P. Hovart
Leden : W. Arteel, A. Van Middelem, G. Cleeren

MINISTERIE van LANDBOUW
Bestuur voor Landbouwkundig Onderzoek
Kommissie voor T.W.O.Z.
Voorzitter : F. Lievens, directeur-generaal

=====

No 17.

MOGELIJKHEDEN tot het GEBRUIK

van

WISSELSTROOM

aan boord van

VISSERSVAARTUIGEN.

=====

Werkgroep "Techniek in de Zeevisserij"

Voorzitter : P. Hovart.

Leden : W. Arteel, A. Van Middelen,
G. Cleeren.

I N L E I D I N G.

=====

Op enkele uitzonderingen na, wordt aan boord van de Belgische vissersvaartuigen momenteel nog steeds gelijkstroom gebruikt. Deze aanwending biedt bepaalde voordelen, maar heeft ook een aantal nadelen. Op grond van deze vaststelling kan de vraag gesteld worden welke deze voor- en nadelen konkreet zijn, met de gedachte of het gebruik van wisselstroom de nadelen niet kan ondervangen en of hierbij dan geen bepaalde problemen, zowel van technische als economische aard, oprijzen. Deze overwegingen vormen de doelstelling van onderhavige studie.

Vooreerst wordt het gebruik van gelijkstroom besproken, met name de voor- en nadelen en het werkingsprincipe. Verder worden de voor- en nadelen van de wisselstroom bestudeerd en worden de diverse aanwendingsmogelijkheden onderzocht. In een detailstudie wordt dan een van de mogelijkheden nader ontleed. Vervolgens wordt een prijsvergelijking tussen gelijk- en wisselstroom doorgevoerd en tenslotte worden enkele besluiten naar voren gebracht.

§ 1. - HET GEBRUIK VAN GELIJKSTROOM. =====

A. Algemeenheden.

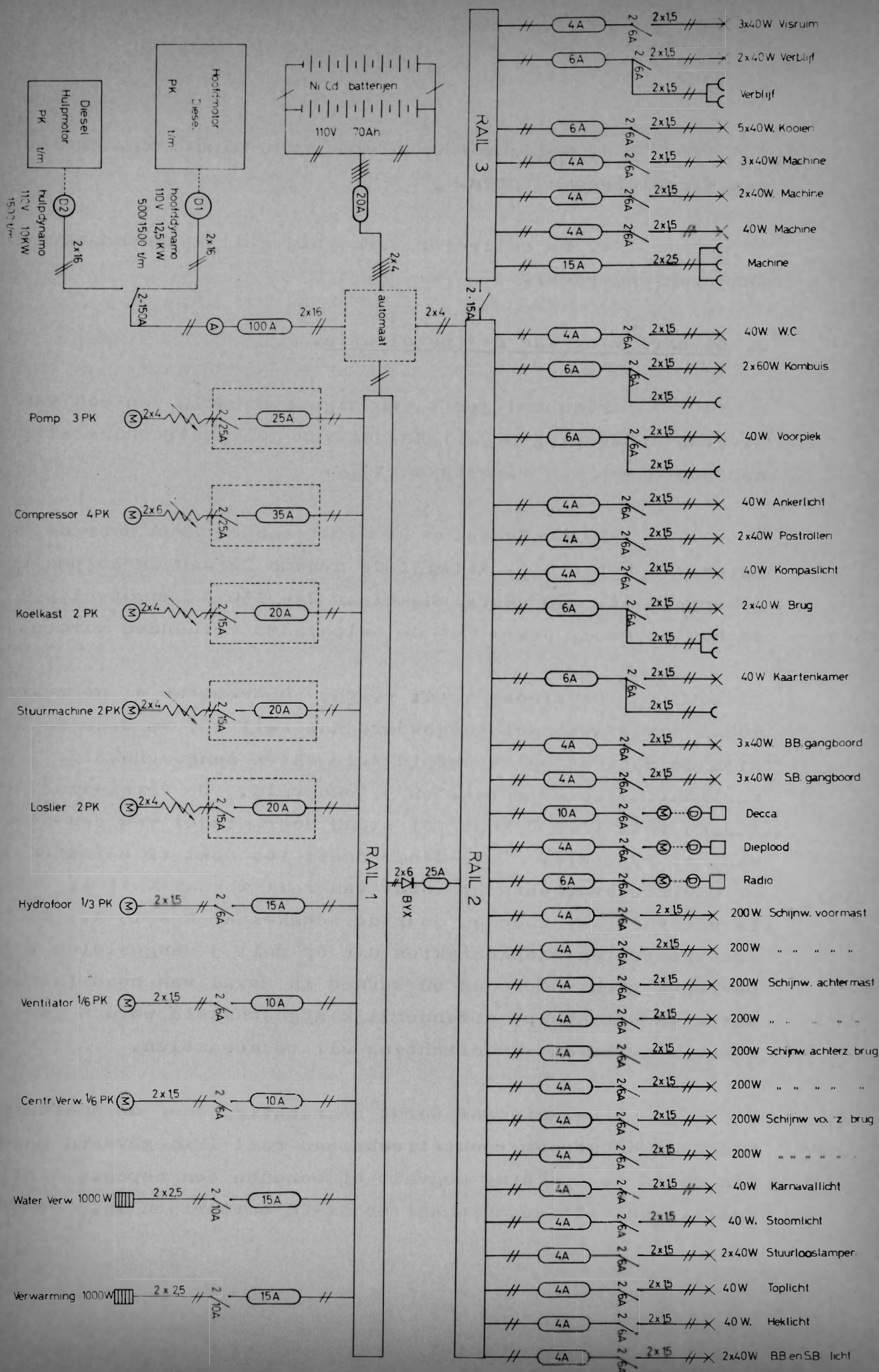
Aan boord van vissersvaartuigen wordt momenteel praktisch uitsluitend gelijkstroom aangewend. Deze aanwending heeft zowel voor- als nadelen.

De aanwending van gelijkstroom heeft als voordelen :

1. De dynamo kan rechtstreeks worden aangedreven door de hoofdmotor.
2. Er moet geen rekening worden gehouden met faseverschuivingen ($\cos \varphi$).
3. De gelijkstroom wordt niet gekenmerkt door perioden, zodat alleen spanning en stroomsterkte een rol spelen.
4. De gelijkstroom laat zeer nauwkeurige snelheidsregelingen toe, zoals o.m. bij shuntmotoren, Ward-Leonard schakelingen, servomechanismen enz.

Tegenover deze voordelen staan anderzijds ook een aantal nadelen :

1. De gelijkspanning kan minder gemakkelijk tot een hogere of lagere spanning omgezet worden.
2. De gelijkspanning kan, als dusdanig, niet aangewend worden voor het voeden van transformatoren, die o.a. bestemd zijn voor de electronische apparaten (decca, radar, netsonde enz.).



3. Gelijkstroommotoren zijn minder commercieel dan wisselstroommotoren.

4. De collector vormt bij gelijkstroommachines een zwak onderdeel.

B. Beschrijving van de installatie.

Figuur 1 geeft een algemeen beeld van één van de diverse aanwendingsmogelijkheden van gelijkstrooinstallaties aan boord van een vissersvaartuig.

De hoofddynamo D1 wordt aangedreven door de hoofdmotor van het schip, terwijl de dynamo D2 aan de hulpmotor gekoppeld is. De hoofdschakelaar 2 - 150 A kan ofwel met de hoofddynamo, ofwel met de hulpdynamo verbonden worden.

De stroom wordt via de ampèremeter A, de zekering 100 A en de automaat toegevoerd aan rail 1 ; op deze rail zijn de motoren en verwarmingselementen aangeschakeld. De verlichting is op rail 2 en 3 gekoppeld. De verbinding tussen rail 1 en 2 komt tot stand door middel van een diode van het type BYX. Deze diode heeft tot doel te beletten dat er energie overgebracht wordt van rail 2 naar rail 1. Rail 3 is met rail 2 verbonden door de schakelaar 2 - 15 A. Alle lichtpunten en stopkontakten die op rail 3 aangesloten zijn, bevinden zich onder dek en kunnen in geval van nood (b.v. water in het schip) afzonderlijk afgeschakeld worden zonder evenwel de bovendekverlichting uit te schakelen.

De automaat wordt bekrachtigd door de hoofddynamo waardoor de stroom rechtstreeks aan rail 1 toegevoerd wordt. Van zodra de spanning wegvalt of beneden een bepaald minimum daalt, schakelt de automaat de Ni-Cd batterijen in. De stroom-

toevoer geschiedt nu langs rail 2 die, via de schakelaar 2 - 15 A, rail 3 voedt. De motoren kunnen aldus geen energie putten uit de batterijen, daar de diode BYX elke energie overdracht van rail 2 naar rail 3 verhindert. De automaat is tevens voorzien van een bediening die toelaat de batterijen te laden door dynamo D1 of D2.

Deze installatie dient als uitgangspunt en basis voor de wisselstroomstudie.

§ 2. - HET GEBRUIK VAN WISSELSTROOM. =====

A. Algemeenheden.

Wanneer aan boord van vissersvaartuigen wisselstroom kan worden gebruikt, worden nadelen die aan gelijkstroom verbonden zijn ondervangen. Deze vormen dan ook de voordelen van de wisselstroom, met name :

1. Uiterst gemakkelijke transformatie tot hogere of lagere spanning.
2. Rechtstreeks geschikt voor voeden van transformatoren.
3. Wisselstroommotoren zijn courant in de handel verkrijgbaar.
4. Sommige wisselstroommachines hebben noch collector, noch sleepringen waaruit voortvloeit dat geen delikate borstelsystemen voorhanden zijn.
5. Tenslotte mag nog worden onderlijnd dat bij wisselstroom de galvanische corrosie niet wordt in de hand gewerkt.

Het gebruik van wisselstroom biedt echter ook een aantal nadelen :

1. Daar wisselstroom gekenmerkt wordt door een frequentieverloop dient het toerental van de aandrijfmotor konstant gehouden te worden. Nu ligt het zo dat het toerental van de motor van een vissersvaartuig bijzonder sterk varieert ; het aantal toeren tijdens de heen- of terugreis is groter (30 à 40 %) dan tijdens het vissen.

De frequentie van de wisselstroom wordt gegeven door de betrekking $f = \frac{p \cdot N}{60}$

hierbij is f = frequentie in perioden per seconde,

p = aantal poolparen (onbenoemd),

N = toerental per minuut.

Voor een bepaalde alternator heeft p een constante waarde, zodat $f = k \cdot N$, met $k = \frac{p}{60} = \text{constante}$.

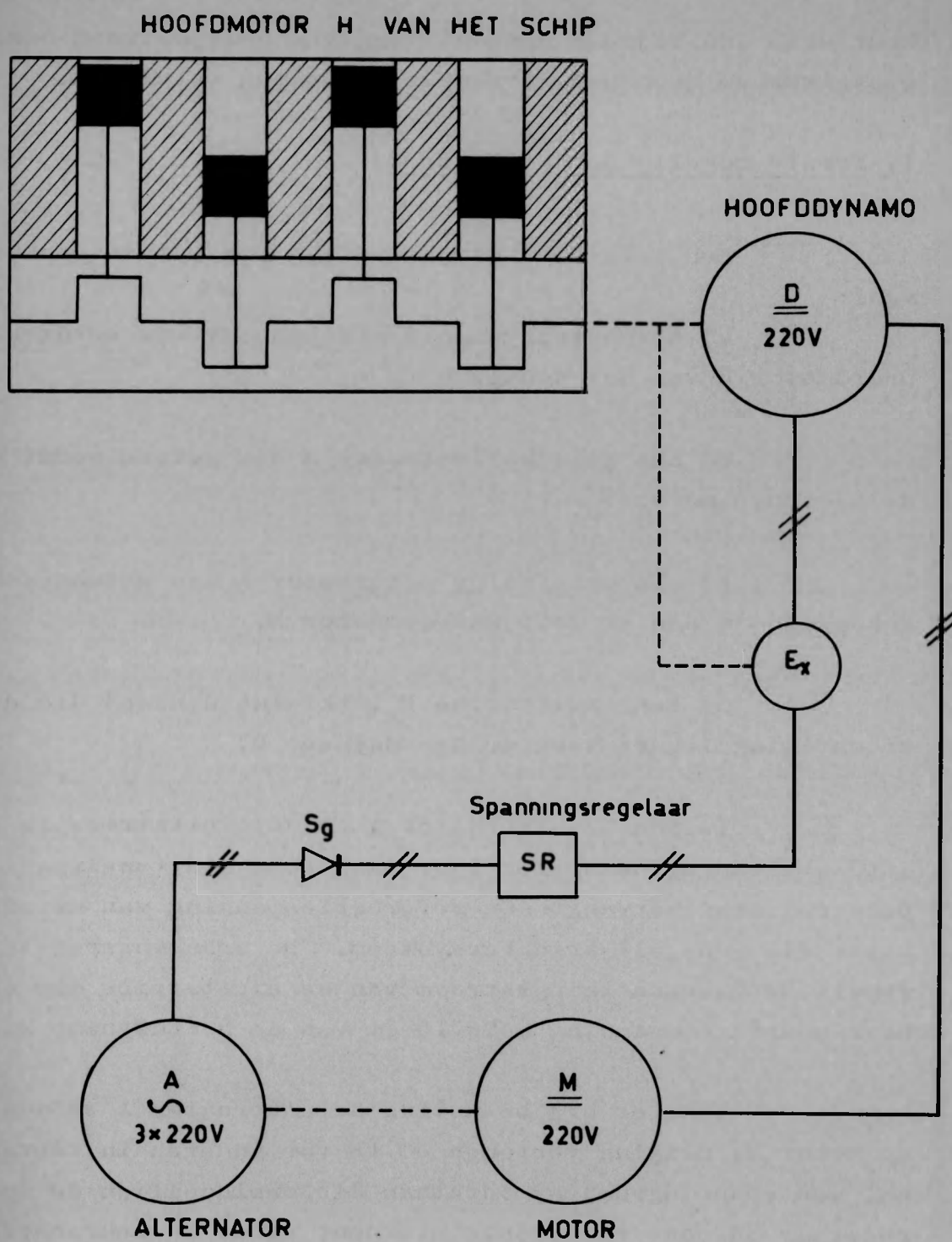
De frequentie is aldus rechtstreeks evenredig met het toerental, zodat deze laatste dient constant gehouden te worden teneinde de frequentie niet te wijzigen. Om dit toerental konstant te krijgen moet dan ook een hulpmotor ingeschakeld worden.

2. Bij wisselstroom moet rekening gehouden worden met de $\cos \varphi$, waardoor de alternator groter moet gedimensioneerd worden.

3. De wisselstroom kan niet rechtstreeks aangewend worden voor het voeden van de batterijen van de noodverlichting.

B. Mogelijkheden voor wisselstroominstallaties.

Voor het aanwenden van wisselstroom aan boord van vissersvaartuigen bestaan diverse mogelijkheden, doch het

**Figur 2**

komt erop aan bij een omschakeling van gelijkstroom naar wisselstroom de meest rationele oplossing te vinden.

1. Eerste mogelijkheid (figuur 2).

Een eerste mogelijkheid ligt in het inschakelen van :

a) Een hoofddynamo D die aangedreven wordt door de hoofdmotor H van het schip,

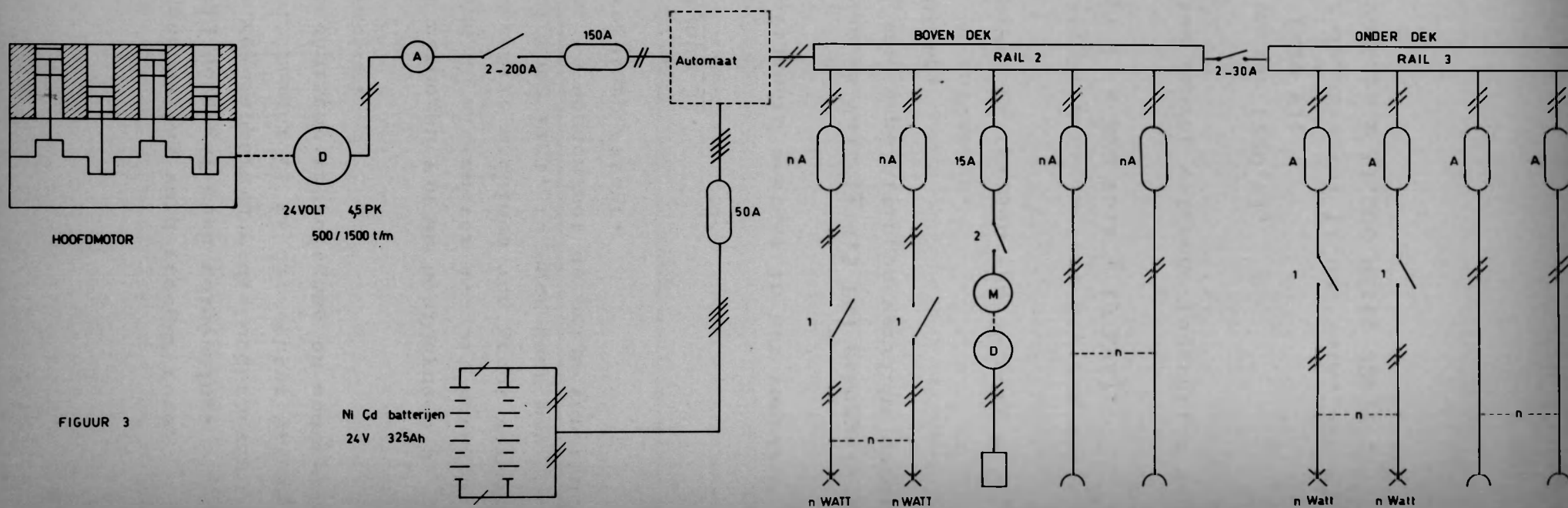
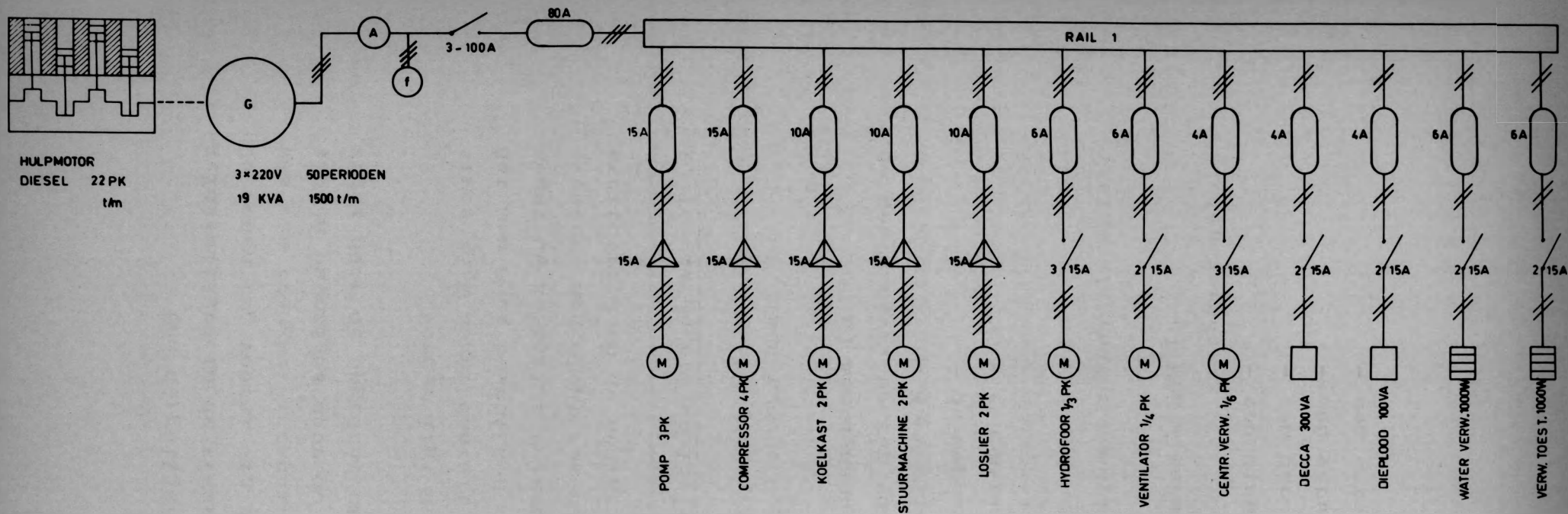
b) Een gelijkstroommotor M die gevoed wordt door de hoofddynamo D.

c) Een driefasige alternator A die mechanisch gekoppeld is aan de gelijkstroommotor M.

d) Een excitatrice E_x . (kleine dynamo) die de bekrachtiging levert voor de hoofddynamo D.

Tussen de alternator A en de excitatrice is een automatische spanningsregelaar SR geschakeld (snelregelaar). Deze regelaar ontvangt een referentiespanning van de alternator via een gelijkrichtersysteem. De spanningsregelaar SR regelt de bekrachtigingsstroom van de excitatrice die op haar beurt de spanning beïnvloedt van de hoofddynamo D.

Wanneer bij belasting de alternator A en dus ook de motor M, neiging vertonen om te verminderen in toerental, zal een spanningsdaling ontstaan die onmiddellijk de spanningsregelaar SR doet reageren. Hierdoor wordt de bekrachtigingsstroom gewijzigd (door weerstandsverandering) van de excitatrice. Door dit regelprocédé verandert de dynamospanning waardoor het toerental én van de motor én van de alternator gecompenseerd wordt. Het toerental van de alternator dient immers constant gehouden te worden met het oog op de frequentie (50 Hz).



FIGUUR 3

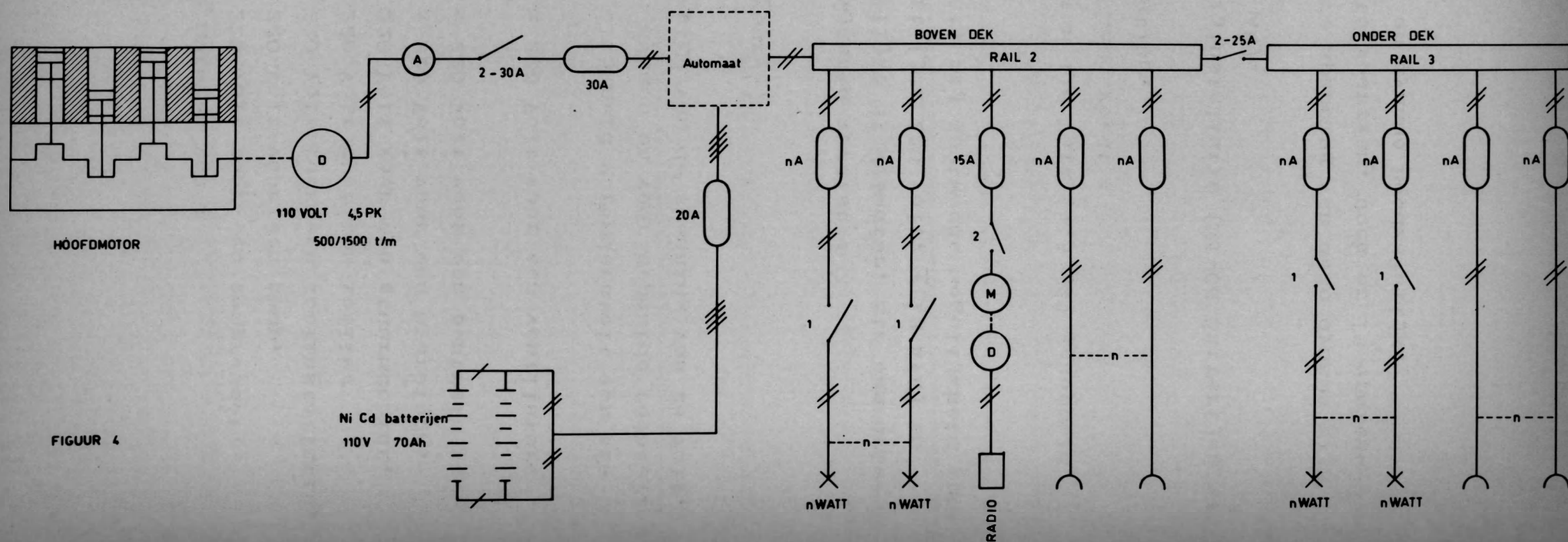
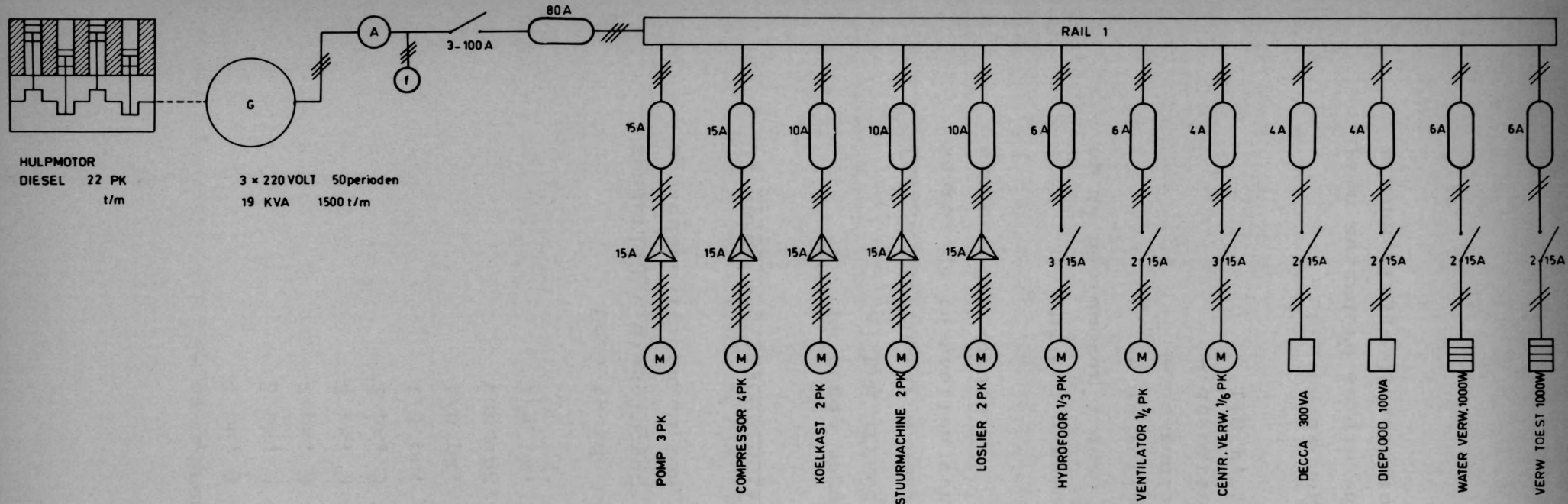
Een dergelijke schakeling werd vroeger reeds geïnstalleerd in de visserij doch gaf geen voldoening. De reden lag vooral bij de regelapparatuur die onderhevig was aan traagheidskrachten. Momenteel is dit echter uitgesloten enerzijds door de technische vooruitgang en anderzijds door de opgedane ervaring.

Verder ligt het vermogen van de hoofddynamo D circa 25 % hoger dan dit van de alternator A. Dit betekent dat men moet beschikken over drie machines van groot vermogen, zodat de kostprijs relatief hoog ligt, te meer daar men eveneens nog dient rekening te houden met de prijs van een excitatrice en de nodige regelapparatuur.

2. Tweede mogelijkheid (figuur 3).

Een tweede mogelijkheid bestaat in het voorzien van :

- a) Een dynamo van 24 Volt ($\pm 4,5$ PK) gekoppeld op de hoofdmotor, waarop volgende aansluitingen verricht worden :
 - de verlichting,
 - de zender en ontvanger,
 - een stel Ni-Cd batterijen van 24 volt - 325 Ah.
- b) Een afzonderlijke dieselmotor, die een drie-fasige alternator aandrijft (3×220 Volt ± 19 KVA).
- c) Een alternator waarop volgende toestellen aangesloten worden :
 - een dieptemeter (220 V),
 - een decca (220 V),
 - een verwarmingstoestel (1.000 Watt, 220 V),
 - een waterverwarmer (1.000 Watt, 220 V),



FIGUUR 4

- asynchrone motoren van :

- 4 pk, 3 x 220 Volt voor een compressor,
- 3 pk, 3 x 220 Volt voor een pomp,
- 2 pk, 3 x 220 Volt voor een koelinstallatie,
- 2 pk, 3 x 220 Volt voor een loslier
- 2 pk, 3 x 220 Volt voor een stuurmachine,
- 1/3 pk, 3 x 220 Volt voor een hydrofoor,
- 1/6 pk, 3 x 220 Volt voor een centrale verwarming,
- 1/4 pk, 3 x 220 Volt voor een ventilator.

Deze tweede mogelijkheid veronderstelt een afzonderlijke dieselmotor en dynamo en voor bepaalde toestellen, zwaardere leidingen tengevolge van de spanning van 24 Volt.

3. Derde mogelijkheid (figuur 4)

De derde mogelijkheid vereist :

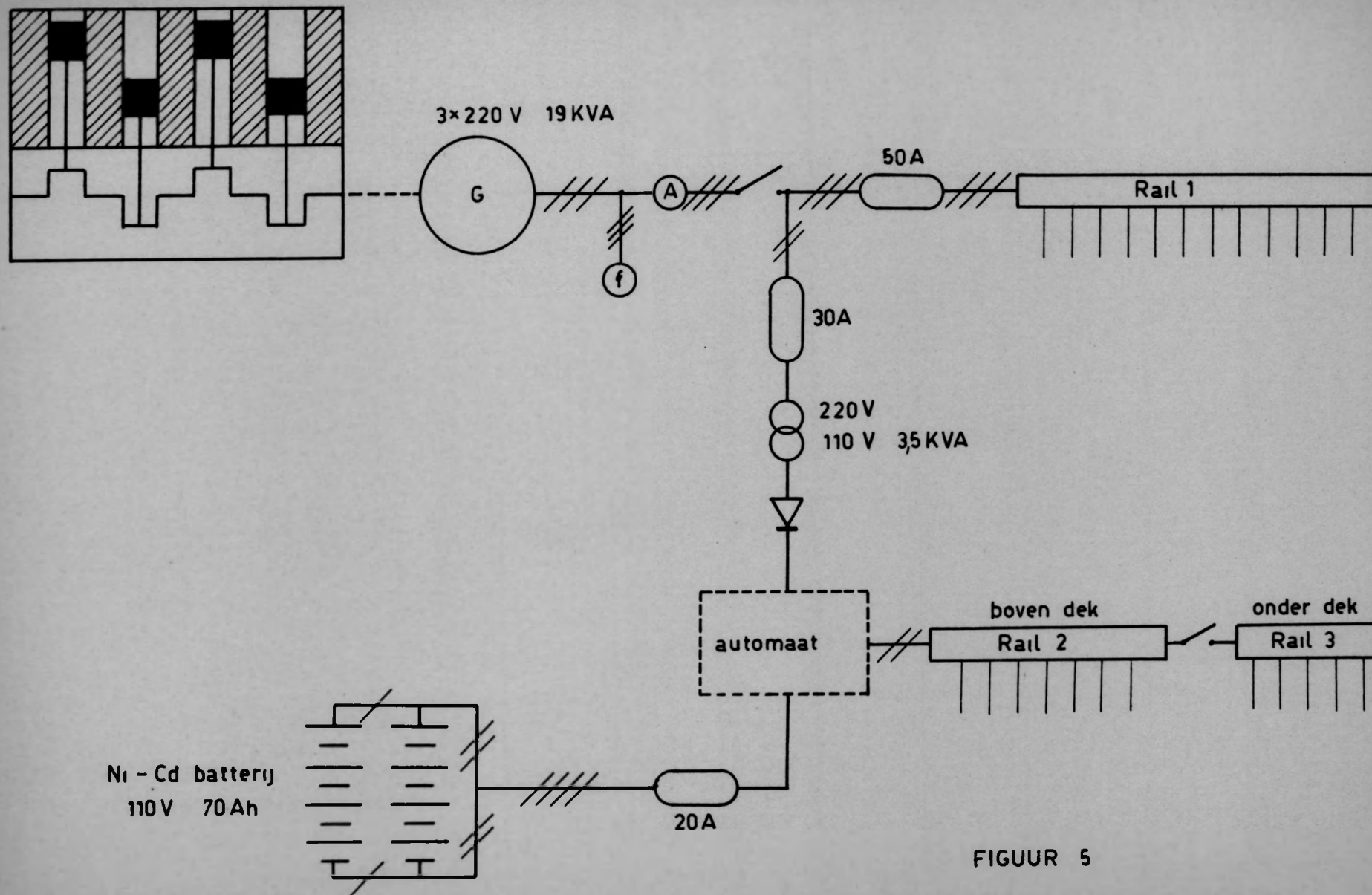
a) Een afzonderlijke dieselmotor, die een driefasige alternator aandrijft (3 x 220 Volt, \pm 19 KVA) en waarop de toestellen vermeld bij de tweede mogelijkheid punt c aangesloten worden.

b) Een dynamo van 110 Volt (4,5 pk) gekoppeld op de hoofdmotor ; deze dynamo voedt :

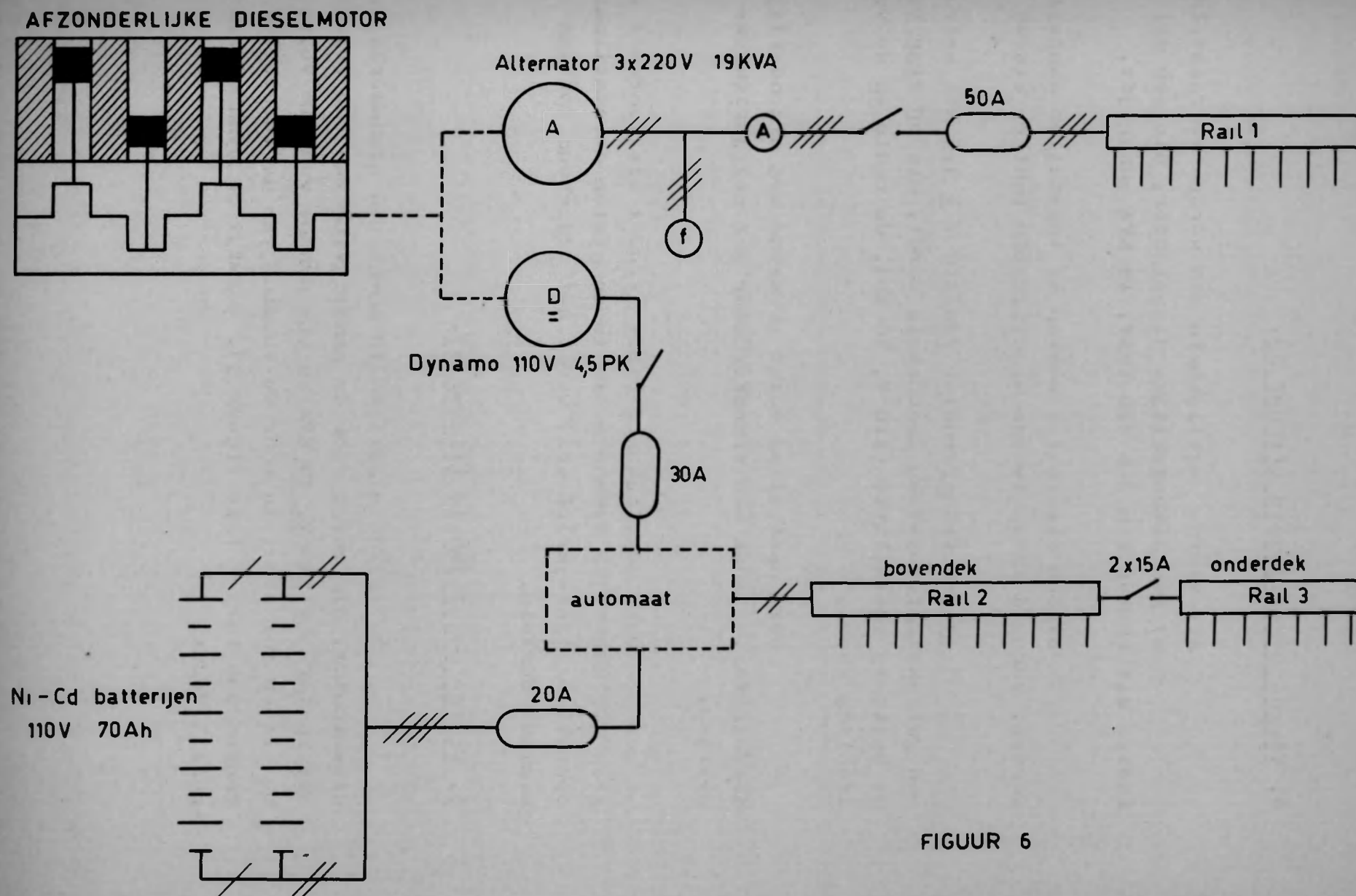
- de verlichting,
- de radio,
- de batterijinstallatie (Ni-Cd batterijen van 110 V, 70 Ah).

Wegens de hogere spanning van deze dynamo zijn geen zwaardere leidingen te voorzien, doch er is opnieuw een afzonderlijke dieselmotor en dynamo noodzakelijk.

AFZONDERLIJKE DIESELMOTOR



FIGUUR 5



FIGUUR 6

4. Vierde mogelijkheid (figuur 5).

Als vierde mogelijkheid kan worden voorgesteld :

- a) Een afzonderlijke dieselmotor, die een driefasige alternator van 3 x 220 Volt, 19 KVA aandrijft.
- b) Een alternator waarop de toestellen aangesloten worden, vermeld in de tweede mogelijkheid punt c, alsook
- c) Een transformator 220/110 V \pm 3,5 KVA waarop een gelijkrichtersysteem geschakeld wordt, die op zijn beurt de batterij installatie (110 V, 70 Ah), de radio en de verlichting voedt.

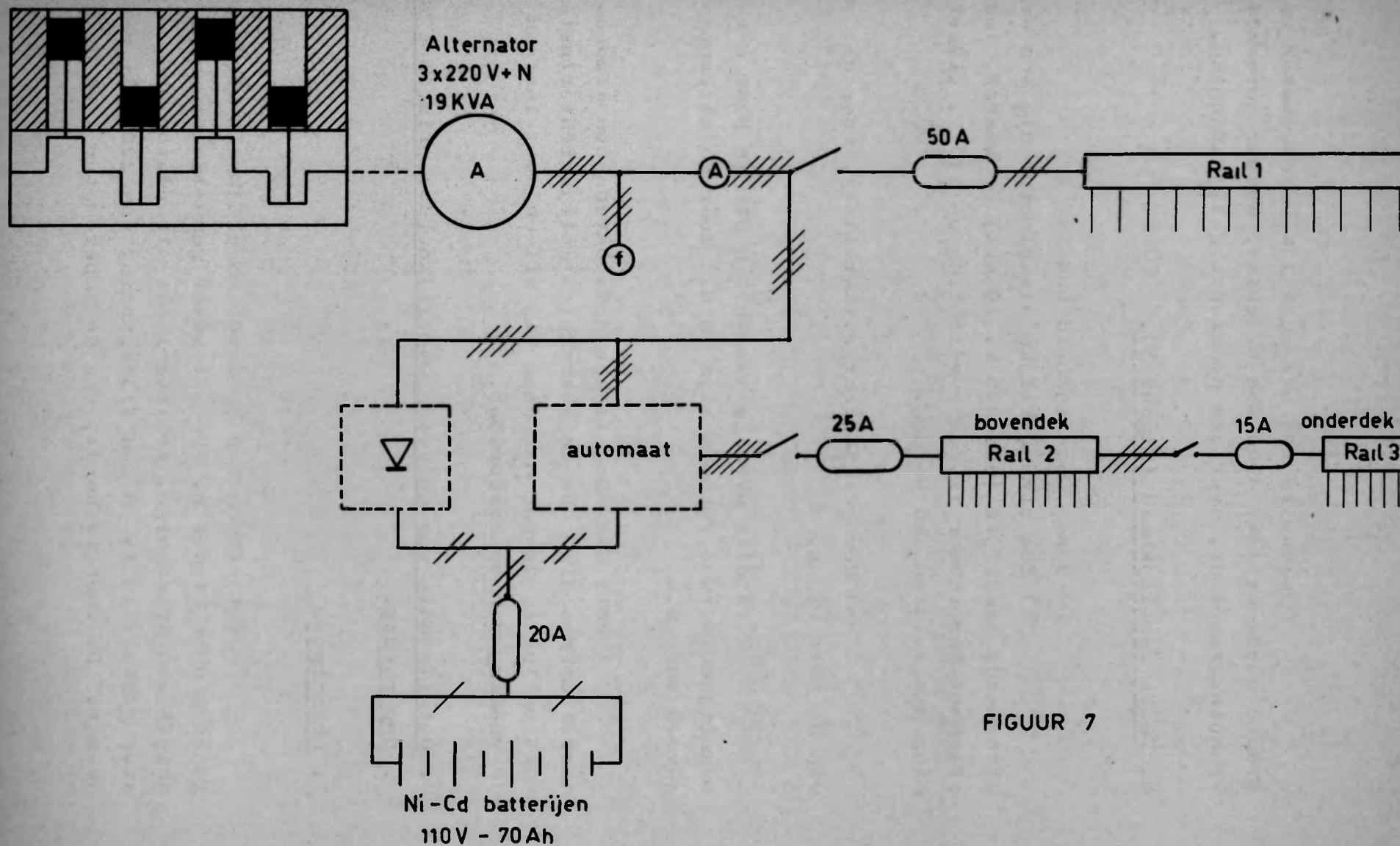
Deze opstelling vergt eveneens een afzonderlijke dieselmotor, alsook een transformator met gelijkrichter-systeem.

Deze mogelijkheid biedt evenwel als voordeel dat geen afzonderlijke dynamo nodig is en gezien de statische opstelling (gelijkrichters) wordt het onderhoud tot een minimum herleid.

5. Vijfde mogelijkheid (figuur 6).

De vijfde mogelijkheid omvat een afzonderlijke dieselmotor, die zorgt voor de aandrijving van een driefasige alternator 3 x 220 V, 19 KVA en een dynamo van 110 Volt. De alternator staat in voor de voeding van de toestellen verbonden aan rail 1 (zie figuur 3), terwijl de dynamo rail 2 en rail 3 voedt.

AFZONDERLIJKE DIESELMOTOR



FIGUUR 7

Opnieuw is een afzonderlijke dieselmotor en dynamo noodzakelijk, doch men beschikt, zonder automatische spanningsregelaar, over een constante gelijkspanning.

6. Zesde mogelijkheid (figuur 7).

De zesde mogelijkheid behelst :

a) Een afzonderlijke dieselmotor die een driefasige alternator aandrijft (3 x 220 V, 19 KVA) en waarop, indien het sterpunt bereikbaar is, de verlichting op 130 V, wisselspanning aangesloten kan worden.

b) Een gelijkrichter installatie voor het voeden van de batterijen.

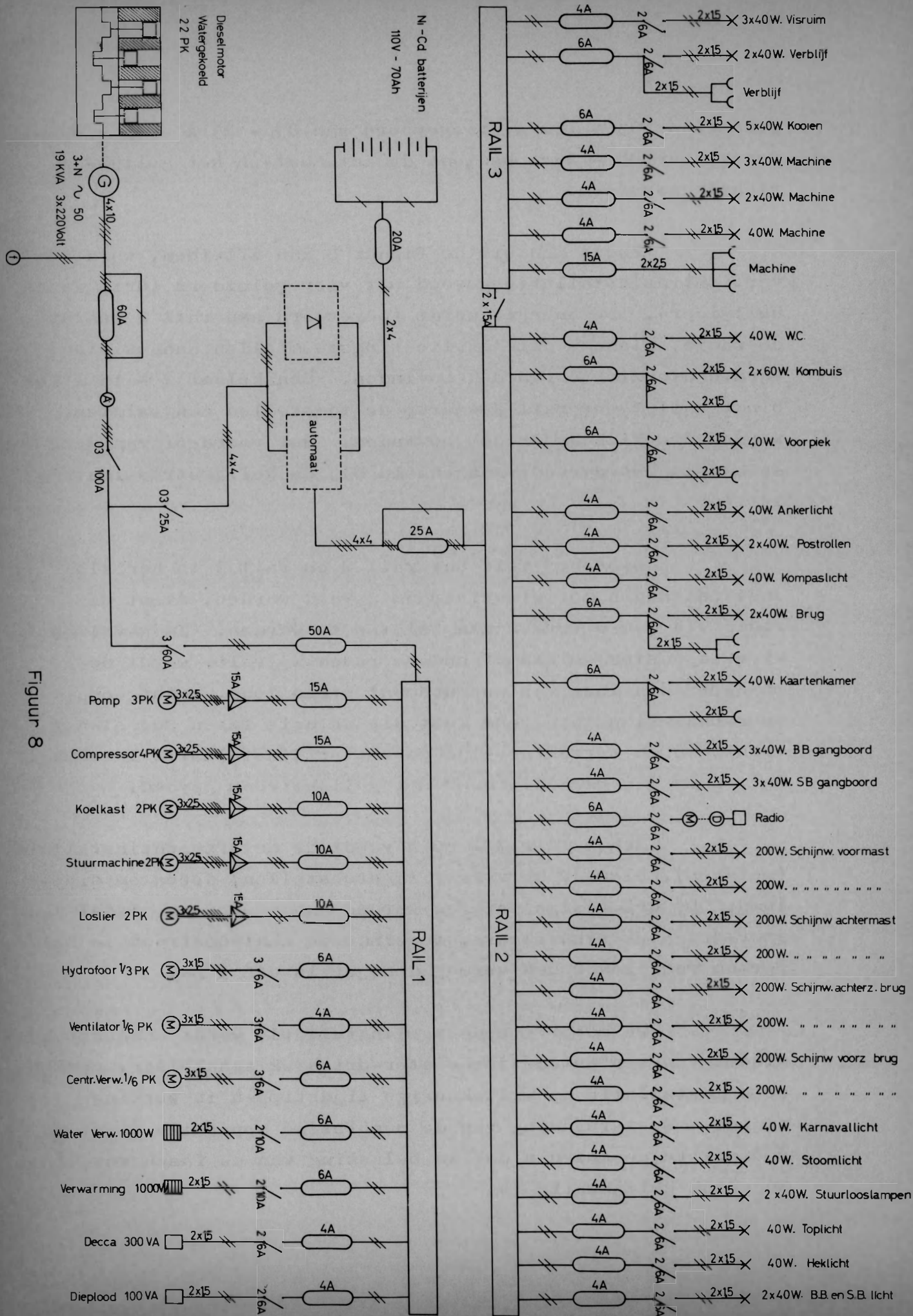
c) Alle overige toestellen die in punt c van mogelijkheid twee vermeld zijn en die door de alternator gevoed worden.

Bij deze mogelijkheid is tevens een afzonderlijke dieselmotor nodig. De ingeschakelde gelijkrichterinstallatie valt echter goedkoper uit daar zij alleen moet instaan voor de voeding van de batterijen.

C. Detailstudie van de zesde mogelijkheid : principes en apparatuur.

1. Principes.

Het schema van de zesde mogelijkheid wordt weergegeven door figuur 8. De met water gekoelde dieselmotor drijft een driefasige, zelfregelende alternator aan, die in ster geschakeld is en een lijnspanning van 220 Volt voortbrengt. De energie wordt, via de ampèremeter A en de hoofd-



schakelaar 03 - 100 A, toegevoerd aan 03 - 25 A en 3 - 60 A. Schakelaar 03 - 25 A bedient de automaat en het gelijkrichtingssysteem.

Zoals men uit de figuur 8 kan afleiden, wordt de verlichtingsinstallatie gevoed met vier geleiders (drie fasen + nulleider). De energie wordt toegevoerd aan rail 2 waarop de radio, alsmede alle verlichtingstoestellen aangesloten worden die zich boven dek bevinden. Schakelaar 2 - 15 A verbindt rail 2 met rail 3 waarop de toestellen aangesloten worden die zich onder dek bevinden. Het voordeel van deze schakeling werd reeds aangehaald bij de gelijkstroominstallatie.

Door het feit dat rail 2 en rail 3 in normale omstandigheden met wisselstroom gevoed worden, dient de radio via een omvormer aangesloten te worden. In geval de wisselspanning om een of andere reden wegvalt, wordt de magneetschakelaar van de automaat stroomloos, zodat een overschakeling tot stand komt die de drie fasen met elkaar verbinden en terzelfdertijd de batterijinstallatie inschakelt. Rail 2 en 3 worden hierdoor met gelijkstroom gevoed.

Schakelaar 3 - 60 A voedt de drijfkrachtinstallatie (motoren), alsmede de verwarmingstoestellen, decca en dieplood. De driefasige motoren worden aangezet door middel van ster-driehoek schakelaars, teneinde de aanloopstroom te beperken voor zover hun vermogen hoger is dan 1 pk.

De motor van de koelinstallatie wordt aangezet door middel van een automatische ster-driehoek schakelaar, gezien deze installatie op willekeurige tijdstippen in werking treedt. De verbinding van de monofasige apparaten dient zodanig te geschieden dat de belasting van de fasen zoveel mogelijk gelijkmatig is.

2. Apparatuur.

De ingeschakelde apparatuur bij de zesde mogelijkheid omvat de alternator, de asynchrone motoren en het gelijkrichtersysteem.

a) De alternator, met bekrachtigingssysteem (1).

Een alternator is een machine die berust op het principe van de dynamo, doch voorzien is van sleepringen waardoor zij wisselstroom kan afgeven onder de vorm van één of meer fasen. Daar een alternator altijd een gelijkstroombron vereist voor zijn bekrachtiging, dient deze stroom op een of andere manier tot stand te komen.

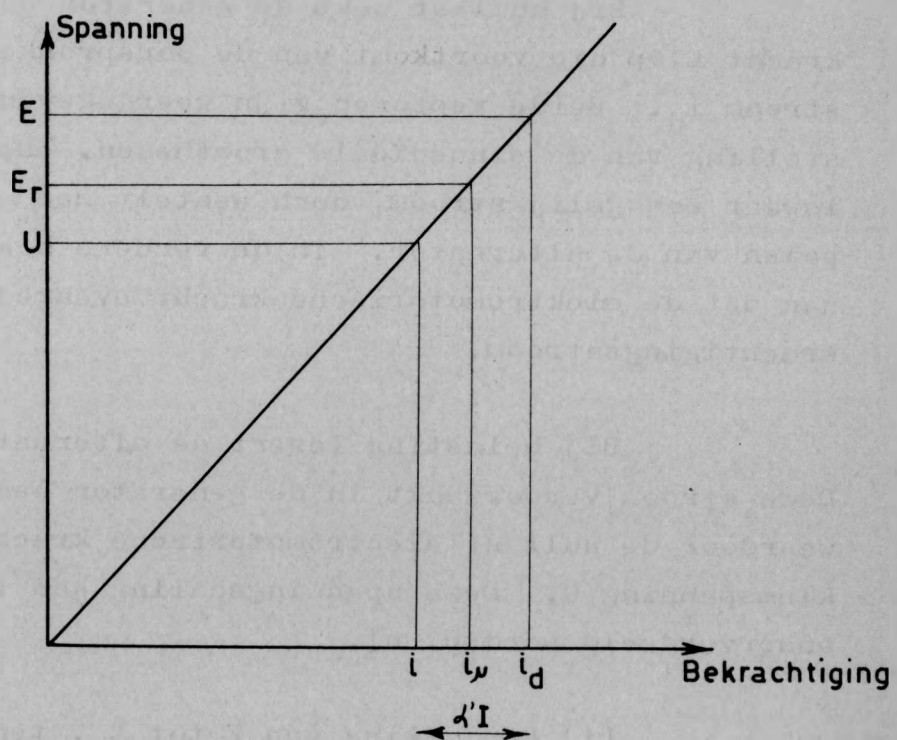
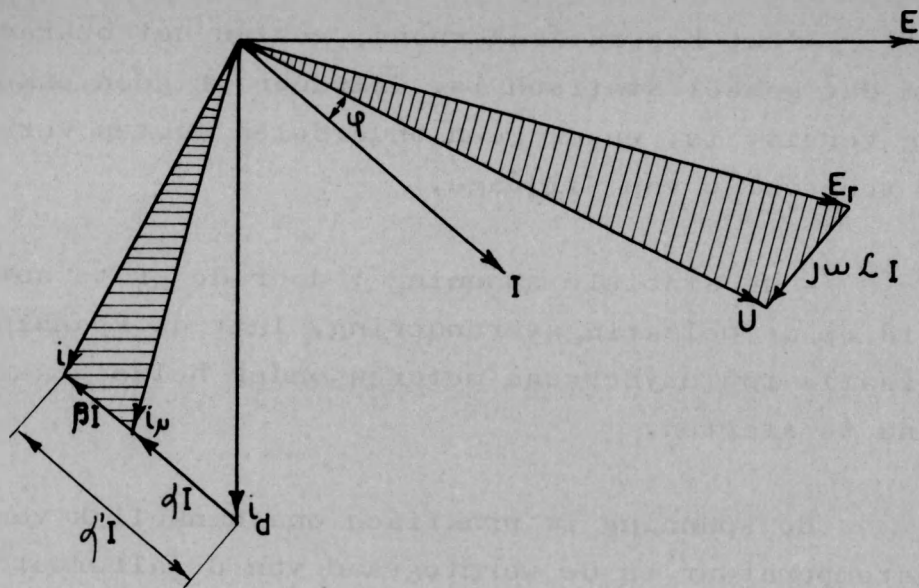
Deze generator-bekrachtigingsgroep dient aan de volgende exploitatievereisten te voldoen : robuustheid, eenvoudige bediening, beperkt onderhoud en stabiliteit van de geleverde spanning.

Het statisch bekrachtigingssysteem van de zelfregelende driefasige compoundgeneratoren beantwoordt aan bovenvermelde voorwaarden door :

- de robuustheid, daar alleen inductiespoelen, transformatoren in lucht en droge siliciumgelijkrichters gebruikt worden,

- de eenvoudige bediening, vermits de spanningsstabilisatie geheel automatisch is en noch de spoelen, noch de transformatoren een regeling dienen te ondergaan gedurende de werking

(1) A.C.E.C. - documentatie - Zelfgeregelde driefasige compoundgeneratoren.



Figuur 9

- het beperkt onderhoud, gezien het bekrachtigings-systeem dat geheel statisch is, waardoor er geen enkele smering vereist is, en er geen onderdelen moeten vervangen worden tengevolge van slijtage.

- de stabiele spanning : door de grote antwoord-snelheid op de belastingsverandering, laat de spannings-stabilisatie toe asynchrone motoren onder belaste generator-toestand te starten.

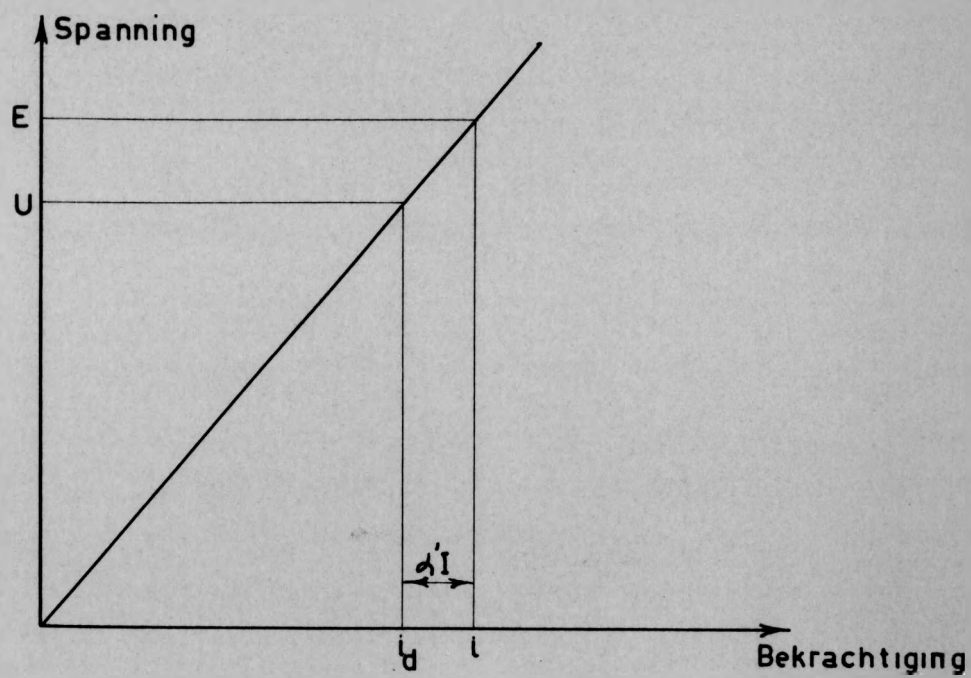
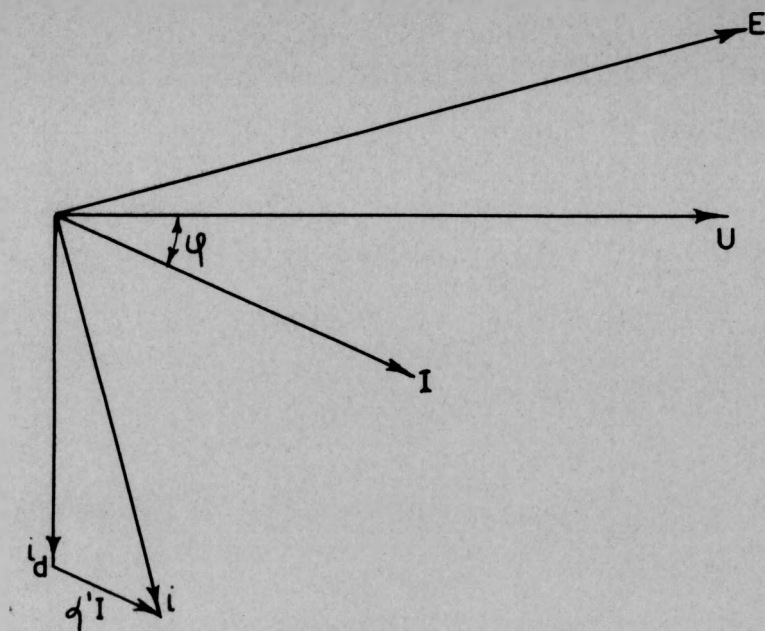
De spanning is praktisch onafhankelijk van de omgevingstemperatuur en de warmtegraad van de alternator.

De principewerking van de alternator kan aan de hand van een vectordiagram verklaard worden (figuur 9).

Bij nullast wekt de generator een elektromotorische kracht E op die voortkomt van de oorspronkelijke bekrachtigingsstroom i_d . Beide vectoren zijn weergegeven volgens de voorstelling van de sinusoidale grootheden. De vector i_d is weliswaar een gelijkstroom, doch wentelt mee met de draaiende polen van de alternator. In de verdere bespreking neemt men aan dat de elektromotorische kracht evenredig is met de bekrachtigingsstroom.

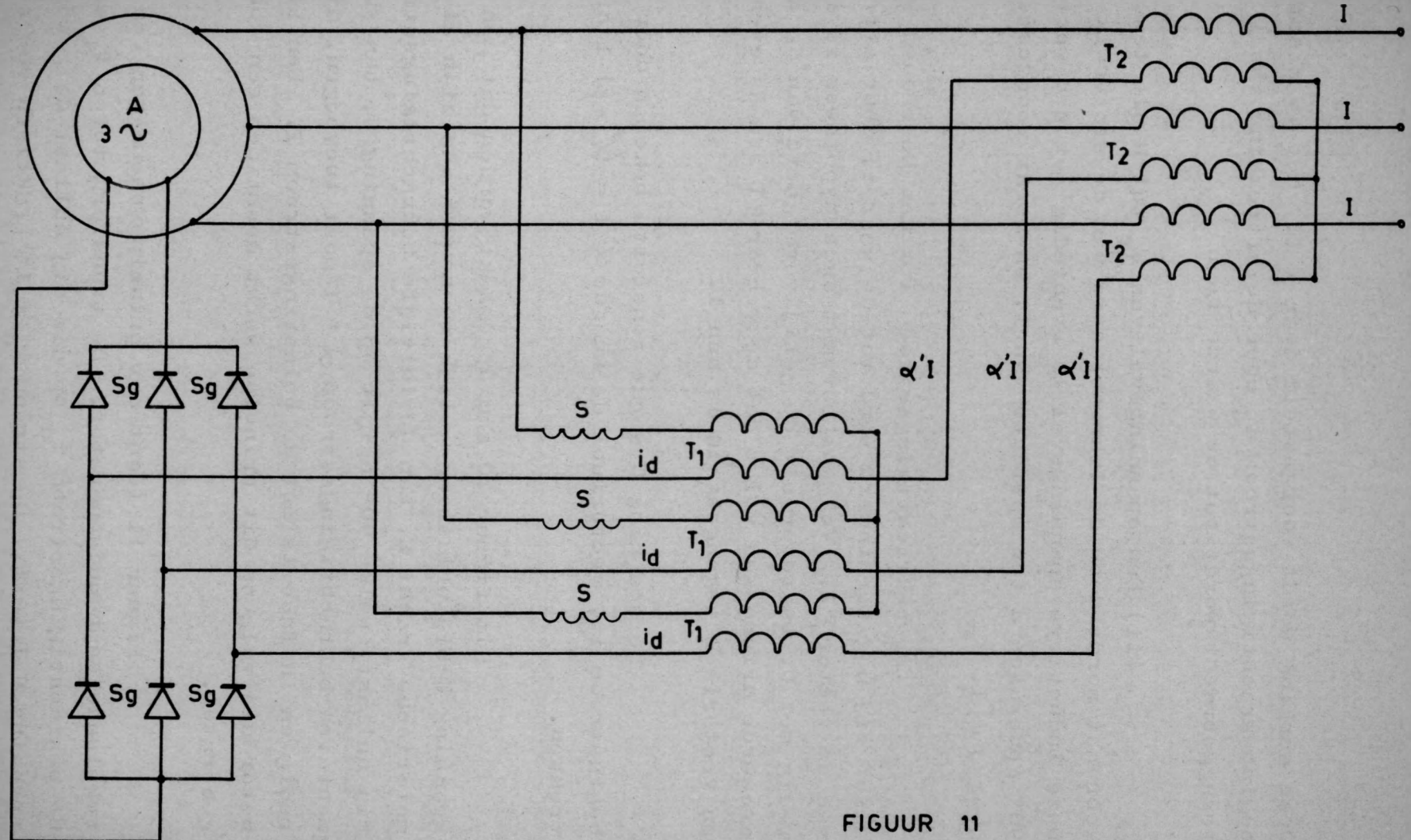
Bij belasting levert de alternator een stroom I . Deze stroom veroorzaakt in de generator een spanningsval, waardoor de nullast elektromotorische kracht E daalt tot de klemspanning U . Deze spanningsdaling kan in twee trappen onderverdeeld worden, nl.

(i) Een daling van E tot E_r , tengevolge van de demagnetiserende werking van de stroom I en gekend onder het verschijnsel van de ankerreactie. Volgens de wet van Lenz is dit verschijnsel evenredig en vectorieel tegengesteld aan I .



Figuur 10

ZELFGEREDELDE COMPOUNDGENERATOR



FIGUUR 11

Deze werking wordt voorgesteld door αI . Het is alsof de beginbekrachtigingsstroom i_d door de aftrekking van αI teruggebracht wordt tot de waarde i_μ .

(ii) Een spanningsval van E_r tot U die teweeggebracht wordt door de lekreactantie van de statorwikkelingen. Deze inductieve spanningsval is evenredig met een vectorieel 90° gedefaseerd ten opzichte van I , en wordt voorgesteld door $j\omega L I$.

De bekrachtigingsstroom i_μ kan beschouwd worden alsof zij nog verminderd werd tot de waarde i , door aftrekking van de vector βI . Volgens bovenstaande hypothese is i evenredig met U , waardoor uit de gelijkvormigheid van de gearceerde driehoeken volgt dat de vector βI steeds evenredig en vectorieel tegengesteld is aan I .

De spanning U wordt tenslotte bekomen door van de beginstroom i_d , vectorieel de waarde $\alpha' I = (\alpha + \beta) I$ af te trekken.

Uit figuur 10 kan opgemaakt worden dat men om de spanning U bij belasting gelijk te houden aan zijn electromotorische kracht E , aan de initiale bekrachtigingsstroom i_d bij nullast, welke 90° naijlt op de spanning U , een supplementaire bekrachtigingsstroom $\alpha' I$ moet toevoegen, die evenredig en in fase is met de belastingsstroom I . Een alternator die volgens dit principe werkt noemt men een compound-generator.

Figuur 11 toont het principeschema van een zelf-regelende compoundgenerator. De transformatoren T_1 wekken de bekrachtigingsstroom i_d op die bij nullast de gewenste spanning U levert. De stroom i_d ijlt praktisch 90° na op U , tengevolge van de zelfinducties S .

De bijkomstige bekrachtigingsstroom $\propto I$, om de spanning U bij belasting constant te houden, wordt geleverd door de transformatoren T_2 . De primaire wikkelingen van deze transformatoren zijn in serie geschakeld met het net en worden bijgevolg doorlopen door de belastingsstroom I . Hieruit volgt dat de secundaire wikkelingen van T_2 een stroom leveren die evenredig en in fase is met I . De transformatoren T_1 en T_2 kunnen verenigd worden tot één enkele met twee afzonderlijke primaire wikkelingen. De bekomen stroomsterkten worden door middel van de silicium gelijkrichters S_g ongezet in een gelijkstroom die aangewend wordt voor de bekrachtiging van de alternator.

De alternator komt op spanning onder de invloed van het remanent magnetisme. Er is aldus geen enkele regeling vereist voor het op spanning komen van de generator.

De nauwkeurigheid van de spanningsregeling is van de orde van $\pm 2,5 \%$ van de nullast electromotorische kracht tot de nominale belasting (vollast). De nauwkeurigheid kan echter opgedreven worden tot $0,5 \%$ door gebruik te maken van een regelaar met magnetische versterker.

De antwoordsnelheid is van de orde van enkele perioden en slechts afhankelijk van de tijdconstanten van de transformatorringen.

Voor de uitvoering van de compoundschakeling bestaan drie uitvoeringen, met name :

(i) Compoundschakeling op chassis.

Deze schakeling wordt zonder afscherming geleverd en dient dan ook in een kast gemonteerd te worden. Het geheel kan eveneens in een andere ruimte opgesteld worden.

(ii) Ingebouwde compoundschakeling.

De schakeling wordt op de generator gemonteerd, zodat het geheel een monoblok vormt, die beschermd is tegen regen en indringing van andere stoffen.

(iii) Losse compoundschakeling.

Hier worden de onderdelen (zelfinducties, transformatoren en gelijkrichters) afzonderlijk geleverd en kunnen bijgevolg naar keuze opgesteld worden.

Tenslotte kan nog aangestipt worden dat de zelfregelende driefasige compoundalternatoren aan de algemene voorschriften beantwoorden met betrekking tot de draaiende elektrische machines.

b) Asynchrone motoren.

Driefasige asynchrone motoren zijn inductiemotoren, die veelvuldige toepassingen vinden in de industrie. Uitgerust met kooianker bieden zij volgende voordelen :

- eenvoudige constructie, daar geen borstels, sleepringen, kortsluitmechanisme noch aanloopweerstand voorhanden zijn ;

- lage aankoopprijs ;

- stabiel toerental ;

- eenvoudige bediening ;

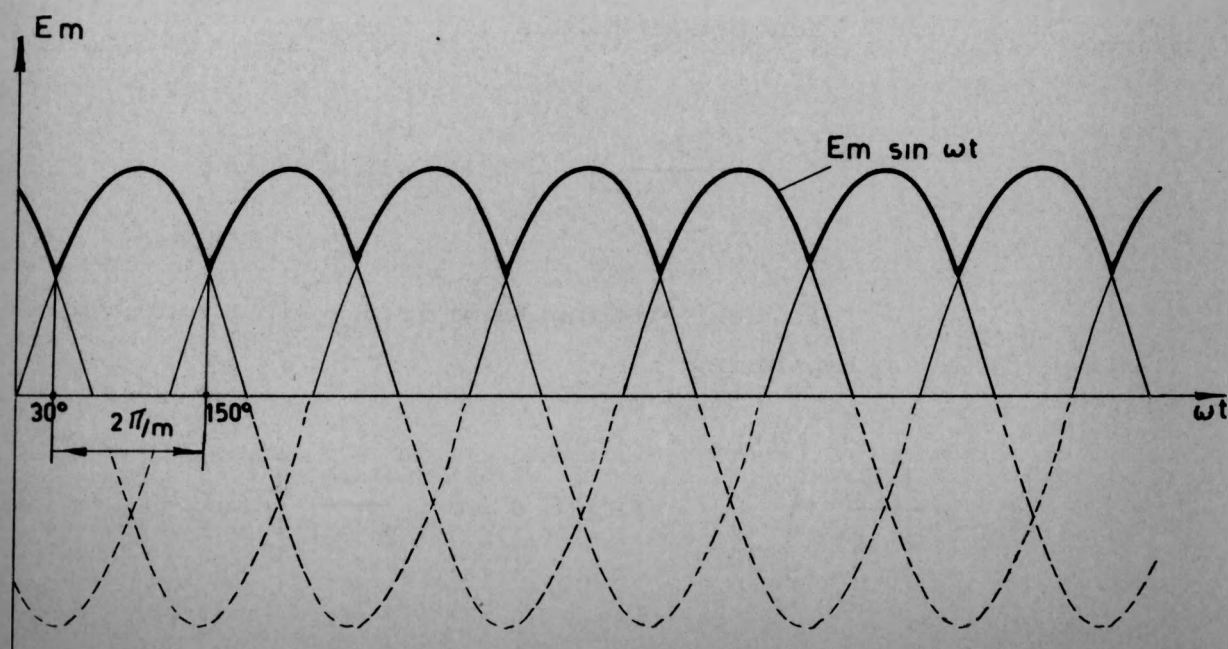
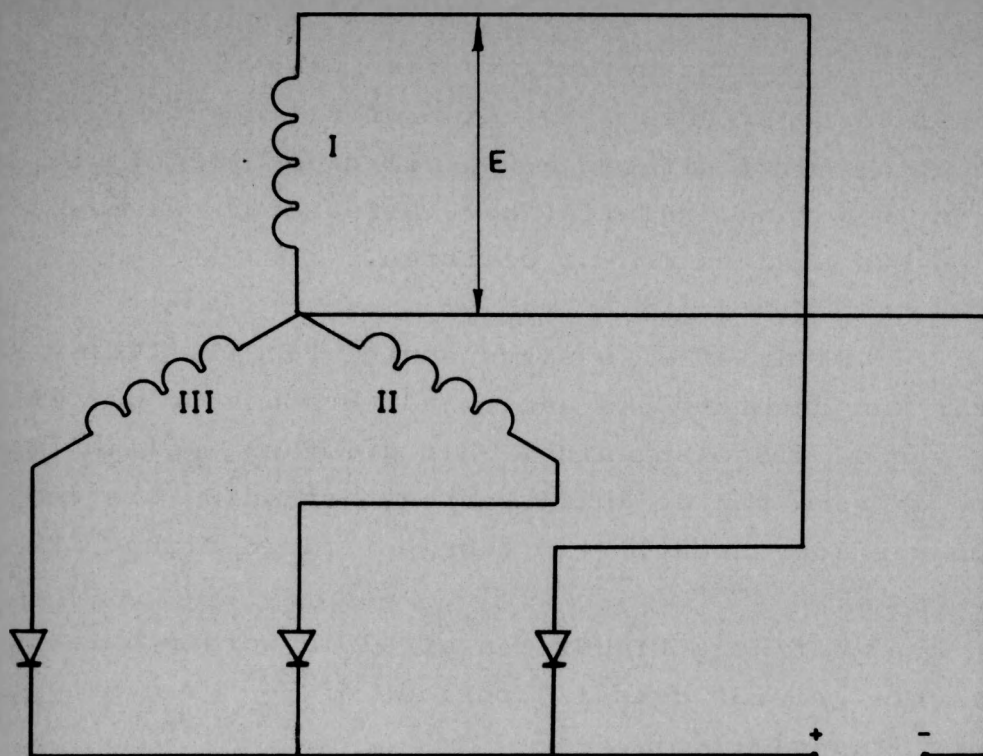
- vergen praktisch geen onderhoud, zodat zij gedurende een lange periode kunnen werken zonder toezicht ;

- gemakkelijk verkrijgbaar in de handel, zowel voor geventileerd gesloten als voor hermetisch gesloten uitvoering ;
- uiterst gemakkelijke verandering van draai-richting ;
- rendement zoals de gelijkstroombmotoren en -dynamo's ;
- versterkt aanloopkoppel en beperkte inschakelstroom door gebruik van rechthoekige rotorstaven, die in diepe gleuven geplaatst worden (principe van dubbelkooianker) ;
- zeer stevige uitvoering van de rotor, die praktisch nooit breekt ;
- zeer grote keuze van vermogen ($1/6$; $1/4$; $1/3$; $1/2$; 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 4 ; 5,5 ; 7,5 ; 10 pk enz).

Kooiankeromotoren met een vermogen groter dan 2 pk vereisen een sterddriehoekschakelaar voor het aanzetten. Hierdoor wordt het aanloopkoppel beperkt, zodat asynchrone motoren uitgerust met kooianker minder geschikt zijn om te starten onder vollast. Dit nadeel valt echter grotendeels weg indien deze motoren uitgerust zijn met een dubbelkooianker. Aan boord van vaartuigen lopen echter de meeste motoren aan onder nullast, zodat dit nadeel grotendeels ondervangen wordt.

c) Gelijkrichtersysteem.

De gelijkrichting komt tot stand door gebruik te maken van droge gelijkrichters die volledig statisch uitgevoerd zijn, praktisch geen onderhoud vergen en bovendien gekenmerkt worden door een onbeperkte levensduur.



FIGUUR 12

De voornaamste types van gelijkrichters zijn samengesteld uit germanium, selenium of silicium. Voor de gelijkrichting wordt uitgegaan van silicium dioden, die uiterst klein zijn in omvang, relatief hoge stroomsterkten kunnen leveren en een goed rendement bezitten.

De driefasige sterspanning (I, II, III) van de alternator kan rechtstreeks aangewend worden voor de gelijkrichting van de wisselspanning. Het driefasig gelijkrichter-schema en de vorm van de gelijkgerichte spanning die een pulserend karakter heeft, zijn voorgesteld in figuur 12.

Uit deze figuur kan afgeleid worden dat ieder diode slechts geleidt over $1/3$ periode of $\frac{2\pi}{n}$ graden (n = aantal fasen) .

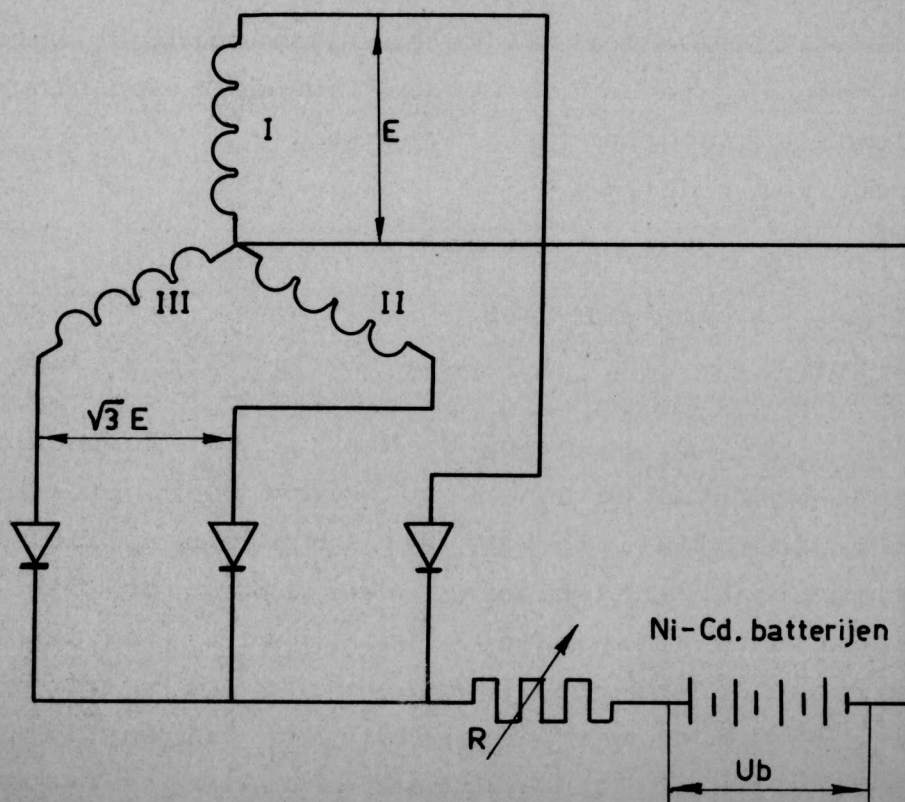
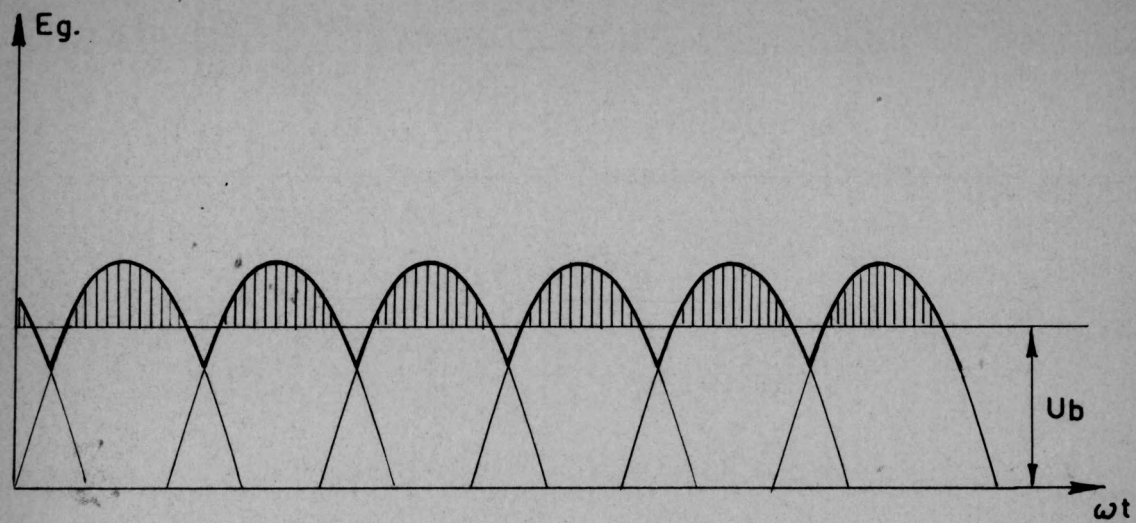
De theoretische waarde E_g van de gelijkspanning kan bepaald worden door de gemiddelde waarde te berekenen van de stroom gedurende dewelke de diode in werking is. Daar $n = 3$ heeft er per diode een strooendoorlating plaats over een interval van 120° , hetgeen in werkelijkheid overeenkomt met een strook van de sinusoïde begrepen tussen 30° en 150° .

Men bekomt aldus :

$$E_g = \frac{1}{\frac{2\pi}{3}} \int_{30^\circ}^{150^\circ} E_m \sin \omega t \, d\omega t$$

In deze uitdrukking is $E_m \sin \omega t$ de voorstelling van de wisselspanning :

$$E_g = \frac{3 E_m}{2\pi} \int_{30^\circ}^{150^\circ} \sin \omega t \, d\omega t = \frac{3 E_m}{2\pi} \left[\cos \omega t \right]_{150^\circ}^{30^\circ}$$



FIGUUR 13

$$\text{of } E_g = \frac{3 E_m}{2 \sqrt{3}} (\cos 30^\circ - \cos 150^\circ) = \frac{3 E_m}{2 \sqrt{3}} \cdot \frac{2 \sqrt{3}}{2}$$

Door vervanging van E_m , die gelijk is aan $\sqrt{2}$ maal de effectieve spanning E , krijgt men :

$$E_g = \frac{3 \cdot \sqrt{2} E}{2 \sqrt{3}} \cdot \sqrt{3} = \frac{3 \sqrt{6}}{2 \sqrt{3}} \cdot E$$

$$E_g = 1,17 E$$

Gezien de waarde van E gelijk is aan 127 volt, wordt :

$$E_g = 1,17 \cdot 127 = 149 \text{ volt}$$

De werkelijke gelijkspanning U_g wordt gevonden door rekening te houden met de inwendige spanningsval E_i in de diode en in de andere elementen.

Hieruit volgt dat :

$$U_g = E_g - E_i$$

De spanning U_g kan via het inschakelen van gepaste weerstanden aangewend worden voor het laden van de batterijinstallatie. Voor het laden van de 110 volt batterijen moet immers de laadspanning merkkelijk hoger zijn dan de nominale batterijspanning. Dit is te wijten aan het feit dat de stroom slechts vloeit wanneer de gelijkgerichte spanning groter is dan de batterijspanning U_b (figuur 13). Naarmate de batterij zich laadt, worden de ordinaatverschillen kleiner,

waardoor de stroomsterkte geleidelijk afneemt. De stroomintensiteit is tevens regelbaar door middel van de regelweerstand R.

d) Hulpmotor.

— — — — —

De hulpmotor is een diesel die met waterkoeling uitgevoerd is. Luchtgekoelde motoren vallen goedkoper uit, doch vergen een speciale bijkomende installatie voor de luchttoevoer.

Het invoeren van een afzonderlijke hulpmotor bij de wisselstroominstallatie heeft ook tot gevolg dat het brandstofverbruik hoger zal liggen dan bij de ene grotere hoofdmotor die de gelijkstroondynamo aandrijft. De bijkomende hulpmotor biedt echter de mogelijkheid de aandrijvende hoofdmotor op een lager pk af te stellen.

Anderzijds moet erop gewezen worden dat het geluid van een kleine hulpmotor hinderend kan werken op de rust van de bemanning vooral wanneer de logies en machinekamer dicht bij elkaar gelegen zijn.

Tenslotte vergt de bijkomende motor meer plaats.

§ 3. - PRIJZENSTUDIE.

=====

A. Algemeenheden.

In aansluiting op de technische mogelijkheden van het gebruik van wisselstroom is het ook uitermate belangrijk de faktor prijs in de studie te betrekken, door namelijk de katalogusprijzen van een gelijkstroombestelling met deze van een wisselstroomapparaat te vergelijken.

Twee elementen zijn hierbij vooral van betekenis. Vooreerst moet de toepassing van wisselstroom geschieden op eenzelfde type van schip als voor gelijkstroom. Verder moet worden uitgegaan van de vereiste van een equivalent vermogen, alsmede van dezelfde mogelijkheden zowel bij gelijkstroom als bij wisselstroom.

Terloops moet nog worden vermeld dat voor de prijzenstudie van wisselstroom, uitgegaan wordt van de zesde mogelijkheid ; deze mogelijkheid lijkt immers de meest praktische en meest economische te zijn.

B. Prijzenvergelijking.

De prijzenvergelijking werd voor twee typen van vaartuigen doorgevoerd.

1. Als gegevens van een eerste vaartuig werden aangenomen :

brutotonnenaat	:	100 ton
lengte	:	25 m
breedte	:	6,5 m
vermogen	:	300 pk

In tabel 1 worden de prijzen weergegeven van een gelijkstroomapparatuur en een wisselstroominstallatie voor dit type van vaartuig.

Tabel 1. - Prijzen van een gelijkstroom- en wisselstroominstallatie voor een schip van 300 pk.

Gelijkstroom				Wisselstroom		
Aard	Motor	Aanloop- in- richting	Totaal	Motor	Aanloop- inrichting	Totaal
Pomp 3 pk	9.100	4.500	13.600	4.500	315	4.815
Compressor 4 pk	12.600	4.500	17.100	5.300	315	5.615
Koelinstallatie 4 pk	12.600	13.100(1)	25.700	6.300	(1)4.650	10.950
Stuurmachine 2 pk	8.550	2.100	10.650	4.150	315	4.465
Loslier 2 pk	8.550	2.100	10.650	4.150	315	4.465
Hydrofoor 1/3 pk	4.850	-	4.850	1.800	-	1.800
Ventilator 1/6 pk	4.250	-	4.250	2.950	-	2.950
Centrale ver- warming 1/6 pk	3.850	-	3.850	1.750	-	1.750
Totale prijs motoren met aanloop- inrichtingen			90.650	Idem		36.810
Hoofddynamo		65.000	108.200	Alternator I	47.000	166.200
Spanningsregelaar		16.500		Hulpmotor	44.200	
Hulpdynamo		23.200		Plaatsings- kosten hulpmotor	21.000	
Handregelaar D ₂		3.500		Gelijk- richters	7.000	
				AlternatorII	47.000	
Totale prijs gelijkstroom			198.850	Totale prijs wisselstroom		203.010

- (1) De koelinstallatie is voor gelijk- en wisselspanning voorzien van een automatische aanzetinrichting. De pomp, compressor, stuurmachine en loslier worden met een gewone aanzetter ingeschakeld. De overige motoren lopen rechtstreeks aan.

Uit tabel 1 blijkt, dat de prijs voor gelijkstroommotoren en hun aanloopinstallaties 90.650 F bedraagt, terwijl de wisselstroommotoren en hun aanloopinstallaties slechts 36.810 F kosten. Dit betekent een prijsvoordeel voor wisselstroom van 59,4 %.

De voeding voor wisselstroom (afzonderlijke dieselmotor met plaatsingskosten en alternatoren met gelijkrichterinstallatie) valt echter duurder uit dan voor gelijkstroom (hoofddynamo met automatische spanningsregelaar en hulpdynamo met handregelaar). Bij wisselstroom komt deze voeding op 166.200 en voor gelijkstroom op 108.200 F of een prijsnadeel voor wisselstroom van 53,6 %.

In totaal beloopt de gelijkstroominstallatie 198.850 F en de wisselstroomapparatuur 203.010 F of 2,1 % duurder.

Bij deze prijzenvergelijking moeten nog een aantal bemerkingen worden gemaakt.

Er wordt verondersteld dat de leidingen geen meerprijs tot gevolg hebben ; men mag immers aannemen dat de prijzen voor de leidingen van het drieleiderstelsel overeenkomen met de prijzen van de zwaardere geleiders voor de gelijkstroominstallatie.

Met de prijzen voor een waterverwarmer (1.000 watt) en een verwarmingstoestel (1.000 watt) wordt verder geen rekening gehouden, vermits deze toestellen universeel zijn, d.w.z. zowel voor gelijk- als bij wisselstroom geschikt zijn.

Ook de algemene kosten voor het plaatsen van de installatie blijven buiten beschouwing, omdat zowel een gelijkstroom- als een wisselstroomapparatuur evenveel arbeidstijd vergt.

Tenslotte moet worden onderlijnd dat de exploitatiekosten bij het gebruik van wisselstroom hoger uitvallen gezien kleinere motoren relatief meer brandstof verbruiken.

2. Als gegevens van een tweede vaartuig werden aangenomen :

brutotonnemaat	:	235 ton
lengte	:	35 m
breedte	:	7 m
vermogen	:	650 pk

Tabel 2 vermeldt de prijzen van een gelijkstroomapparatuur en een wisselstroomapparatuur van dit schip.

Tabel 2. - Prijzen van een gelijkstroom- en wisselstroominstallatie voor een schip van 650 pk.

Gelijkstroom				Wisselstroom		
Aard	Motor	aanloop- in- richting	Totaal	Motor	aanloop- inrichting	Totaal
Pomp 4 pk	12.600	4.500	17.100	5.300	315	5.615
Compressor 4 pk	12.600	4.500	17.100	5.300	315	5.615
Compressor 4 pk	12.600	4.500	17.100	5.300	315	5.615
Koelinstallatie 4 pk	12.600	(1) 13.100	25.700	6.300	(1) 4.650	10.950
Stuurmachine 5,5 pk	14.800	5.900	20.700	7.700	435	8.135
Loslier 2 pk	8.550	2.100	10.650	4.150	315	4.465
Ventilator 1/6 pk	4.250	-	4.250	2.950	-	2.950
Ventilator 1/6 pk	4.250	-	4.250	2.950	-	2.950
Brandstofpomp 1/2pk	5.000	-	5.000	1.940	-	1.940
Hydrofoor 1/2 pk	5.000	-	5.000	1.940	-	1.940
Totale prijs motoren met aanloop- inrichting			126.850	Idem		50.175
Hoofddynamo 25 KW	109.000			Alternator I	65.500	
Spanningsregelaar	18.500			Hulpmotor	57.000	
Hulpdynamo 21,5KW	59.500		191.500	Plaatsings- kosten af- zonderlijke hulpmotor	23.000	219.500
Handregelaar	4.500			Gelijkricht- richters	8.500	
				Alternator II	65.500	
Totale prijs gelijkstroom			318.350	Totale prijs wis- stroom		269.675

(1) De koelinstallatie is voor gelijk- en wisselspanning voorzien van een automatische aanzetinrichting. De pomp, compressor, stuurmachine en loslier worden met een gewone aanzetter ingeschakeld. De overige motoren lopen rechtstreeks aan.

Uit tabel 2 kan worden afgeleid, dat de prijs voor gelijkstroommotoren met hun aanloopapparatuur 126.850 F beloopt, terwijl dit voor wisselstroom 50.175 F bedraagt. Hieruit volgt een prijsvoordeel voor wisselstroom van 60,4 %.

Bij wisselstroom komt de voedingsapparatuur neer op een prijs van 219.500 F en de gelijkstroomvoeding op een prijs van 191.500 F. Dit geeft een prijsnadeel voor wisselstroom van 14,6 %.

Globaal beschouwd, wordt de prijs van een gelijkstroominstallatie 318.350 F en deze van een wisselstroominstallatie met 269.675 F. Het prijsverschil dat in het voordeel ligt van wisselstroom bedraagt 15,3 %.

§ 4. - BESLUITEN. =====

Uit de studie komt naar voren dat het gebruik van wisselstroom aan boord van vissersvaartuigen met een vermogen van circa 300 pk geen prijsvoordelen oplevert ; voor schepen uitgerust met grotere vermogens (\pm 500 pk en meer) is er echter wel een voordeel. Dit komt o.a. door het feit dat grote schepen enerzijds meer elektrische motoren aan boord hebben, waarvan de aankoopprijs voor het gebruik op wisselstroom merkkelijk lager ligt dan deze van gelijkstroom en anderzijds de kostprijs voor wisselstroomvoeding (vooral alternatoren) in functie van het geïnstalleerd vermogen minder vlug stijgt dan deze voor gelijkstroomvoeding. Hieruit vloeit voort dat een wisselstroominstallatie de integrale elektrische verwarming in de hand werkt en het aanschaffen van een verwarmingsketel met radiatoren voor centrale verwarming overbodig maakt.

Het aanwenden van wisselstroom biedt ook enkele technische voordelen, vooral met betrekking tot het invoeren van driefasige asynchrone motoren (met kooianker), waardoor met het ontbreken van sleepringen en borstels de storingen worden verminderd. Ook de aanloopapparatuur en de bediening van dergelijke wisselstroommotoren is eenvoudiger dan voor gelijkstroommotoren.

Het aanwenden van wisselstroom heeft anderzijds als nadeel dat een afzonderlijke hulpmotor dient ingeschakeld te worden. Dit heeft tot gevolg dat : (a) het brandstofverbruik toeneemt (het specifiek brandstofverbruik van de hulpmotor ligt hoger dan dit van de hoofdmotor) ; (b) het lawaai hinderend is voor de bemanning, vooral wanneer het logies en de machinekamer dicht bij elkaar gelegen zijn en (c) het plaatsgebrek zich eventueel kan opdringen.

=====

April 1965.

